

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-270602

(43)Date of publication of application : 25.09.2003

(51)Int.Cl.

G02F 1/05
G02F 1/295
G02F 1/313

(21)Application number : 2002-074252

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 18.03.2002

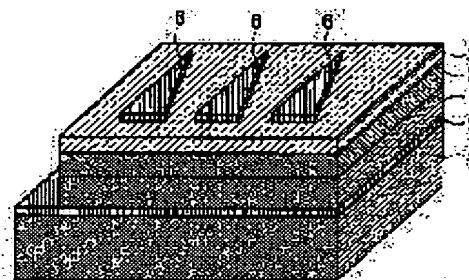
(72)Inventor : NISHIZAWA MOTOTOSHI
KATO MASAYUKI**(54) ELECTROOPTICAL EFFECT ELEMENT USING SINGLE CRYSTAL OF LEAD ZINC NIOBATE - LEAD TITANATE MIXED CRYSTAL FERROELECTRIC MATERIAL AND OPTICAL SWITCH USING THE SAME**

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an electrooptical effect element using single crystal of lead zinc niobate - lead titanate mixed crystal ferroelectric material and an optical switch using the same which allows the low-voltage drive of a light deflecting element using electrooptical effect without deteriorating light propagation characteristics.

SOLUTION: This electrooptical effect element has an optical wave guide structure of which at least one side clad layer 1 consists of $\text{Pb}[(\text{Zn}_{1-u}\text{Nb}_u)_{1-v}\text{Ti}_v]\text{WO}_3$ and core layer 2 consists of $\text{Pb}[(\text{Mg}_{1-x}\text{Nb}_x)_{1-y}\text{Ti}_y]\text{ZrO}_3$.

本発明の原理的構成の説明図



1: クラッド層
2: コア層
3: クラッド層
4: 第2のPZT基板
5: 誘電性物質
6: 斜面を有する形状の電極

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

03.03.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2003-270602

(P 2003-270602 A)

(43) 公開日 平成15年9月25日(2003. 9. 25)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコ-ト (参考)
G 0 2 F	1/05	5 0 1	2H079
	1/295		2K002
	1/313		

審査請求 未請求 請求項の数 5

OL

(全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2002-74252(P2002-74252)

(22) 出願日 平成14年3月18日(2002. 3. 18)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

(72) 発明者 西沢 元亨

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 加藤 雅之

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100105337

弁理士 眞鍋 潔 (外3名)

最終頁に続く

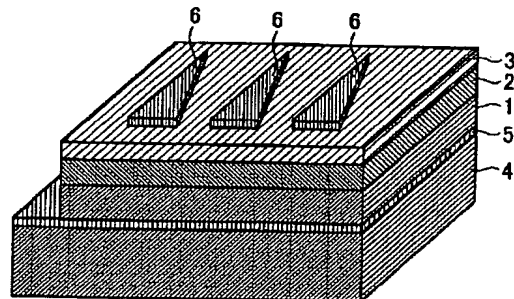
(54) 【発明の名称】 亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子及びそれを用いた光スイッチ

(57) 【要約】

【課題】 亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子及び光スイッチに関し、電気光学効果を用いた光偏向素子を光伝播特性を劣化させることなく低電圧駆動する。

【解決手段】 少なくとも一方のクラッド層1が $Pb \{ (Zn_{1-u} Nb_u)_{1-v} Ti_v \}_w O_3$ からなり、且つ、コア層2が $Pb \{ (Mg_{1-x} Nb_x)_{1-y} Ti_y \}_z O_3$ からなる光導波路構造を備える。

本発明の原理的構成の説明図



1:クラッド層
2:コア層
3:クラッド層

4:第2のPZT基板
5:導電性物質
6:斜面を有する形状の電極

BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも一方のクラッド層がPb

$\{(Zn_{1-u}Nb_u)_{1-v}Ti_v\}_wO_3$ からなり、且つ、コア層がPb $\{(Mg_{1-x}Nb_x)_{1-y}Ti_y\}_zO_3$ からなる光導波路構造を備えたことを特徴とする亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子。

【請求項2】 上記一方のクラッド層がPb $\{(Zn_{1-u}Nb_u)_{1-v}Ti_v\}_wO_3$ からなる第1のPZNPT基板から構成され、前記第1のPZNPT基板が導電性物質を介して第2のPZNPT基板に接合されていることを特徴とする請求項1記載の亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子。

【請求項3】 上記第1のPZNPT基板の厚さが、 $0.5 \sim 100 \mu m$ であることを特徴とする請求項2記載の亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子。

【請求項4】 上記電気光学効果素子の少なくとも一方の主面に入射面に対して出射面が傾斜した斜面を有する形状の電極が形成され、光導波路に入射された光が電気光学プリズム効果によって偏向することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子。

【請求項5】 複数の光導波路と、前記各導波路の光信号を個別にコリメートするコリメート部と、前記コリメート部を通過した各光信号の伝搬方向をそれぞれ切り替える請求項4記載の亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子からなる複数の第1の光偏向素子と、前記複数の第1の光偏向素子をそれぞれ通過した各光信号が伝搬する共通導波路と、前記共通導波路を通過した各信号の伝搬方向をそれぞれ個別に切り替える請求項4記載の亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子からなる複数の第2の光偏向素子と、前記第2の光偏向素子を通過した各信号をそれぞれ個別に集光する集光部を少なくとも有し、前記第1の光偏向素子および第2の光偏向素子はいずれも1つまたは複数のプリズム群ペアによって構成されることを特徴とする光スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は亜鉛ニオブ酸鉛(PZN)-チタン酸鉛(PT)混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子及びそれを用いた光スイッチに関するものであり、特に、光導波路中を伝搬する光波や位相や強度を印加した電圧に応じて変化させる光変調素子、光の方向を変える光偏向素子、及び、複数の入力ポートと複数の出力ポートとの間で光信号の伝搬先を切り替える光スイッチを使用した光信号切り替え装置を低電

圧駆動するための光導波路を構成する材料に特徴のある亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子及びそれを用いた光スイッチに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、光通信の伝送帯域は増加の一途をたどり、波長多重化(WDM: Wavelength Division Multiplex)技術と相まって高速かつ大容量化が進んでおり、基幹通信ネットワークにおける光ファイバー網のハードウェアのインフラを構築するためには、光信号の伝達先を切り替えるための光偏向器等が必要である。

【0003】 従来の光偏向器には機械式のマイクロミラーが用いられているが、より高集積、高速、低損失を実現するためには、強誘電体の電気光学効果による屈折率の変化を利用した光偏向器も開発されている。

【0004】 例えば、Ti拡散型導波路やプロトン交換型導波路を作成したLiNbO₃単結晶ウエハを用いたプリズム型ドメイン反転光偏向素子、或いは、プリズム型電極光偏向素子が提案されている(必要ならば、Q. Chec et al., J. Lightwave Tech., vol. 12, p. 1401, 1994参照)。

【0005】 しかしながら、これらの光偏向素子はLiNbO₃単結晶ウエハの厚さである0.5mm程度の電極間隔が必要となるため、依然として駆動電圧は高く、駆動電圧を600Vとした場合でも偏向角度θは僅かに0.5°程度が得られるに過ぎず、実用的な偏向角度は得られないという問題がある。

【0006】 そこで、NbドーピングSrTiO₃導電性単結晶基板の(100)面上に、厚さが、例えば、600nmのPb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O₃組成の高い電気光学定数を有するPZT層をエピタキシャル成長させて薄膜光導波路を作製し、この光偏向素子に印加電圧を-12Vから12Vに掃引することにより、10.8°の偏向角度を得ることが提案されている(必要ならば、特開平9-5795号公報参照)。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、SrTiO₃基板を導電性基板として用いるためには、少なくとも1%以上のNbをドーピングしなければならないが、Nbの高濃度ドーピングによって基板は黒色化するため、伝播光の吸収は避けられず、光信号を長距離伝搬させるのに必ずしも適する方法ではなかった。

【0008】 また、ノン・ドーピングのSrTiO₃基板に、SrRuO₃等の導電性酸化膜を形成する場合にも、SrRuO₃自体が黒色であるために同様な光の吸収が起こるという問題がある。

【0009】 したがって、本発明は、電気光学効果を用いた光偏向素子を光伝播特性を劣化させることなく低電

圧駆動することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】図1は、本発明の原理的構成の説明図であり、ここで、図1を参照して本発明における課題を解決するための手段を説明する。

図1参照

上記の課題を解決するために、本発明は、亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子において、少なくとも一方のクラッド層1が $Pb\{(Zn_{1-u}Nb_u)_{1-v}Ti_v\}_wO_3$ からなり、
10 且つ、コア層2が $Pb\{(Mg_{1-x}Nb_x)_{1-y}Ti_y\}_zO_3$ からなる光導波路構造を備えたことを特徴とする。

【0011】この様に、少なくとも一方のクラッド層1としてPb系ペロブスカイト構造を有する亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系、即ち、 $Pb\{(Zn_{1-u}Nb_u)_{1-v}Ti_v\}_wO_3$ [PZNPT]を用いることにより、コア層2として高いポッケルス定数が得られるマグネシウムニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系、即ち、 $Pb\{(Mg_{1-x}Nb_x)_{1-y}Ti_y\}_zO_3$ [PMNPT]
20 をエピタキシャル成長することが可能になり、それによって、低電圧で高い偏向角を得ることが可能になる。

【0012】この場合、クラッド層1となる $Pb\{(Zn_{1-u}Nb_u)_{1-v}Ti_v\}_wO_3$ における u , v , w をそれぞれ、 $0.5 < u < 1$, $0 \leq v < 0.5$, $0.8 < v < 1.2$ とすることによって、クラッド層1となるPZNPTの屈折率を2.561とし、コア層2となるPMNPTの屈折率を2.612とすることができるので良好な光導波路構造を構成することが可能になる。
30

【0013】なお、PMNPT層をエピタキシャル成長させるためには、 $Pb\{(Zn_{1-u}Nb_u)_{1-v}Ti_v\}_wO_3$ の主表面は、ペロブスカイト構造の(100)面、(001)面、(101)面、及び、(111)面のいずれかとするのが望ましい。

【0014】この場合、電極間隔を狭くするためには、一方のクラッド層1が $Pb\{(Zn_{1-u}Nb_u)_{1-v}Ti_v\}_wO_3$ からなる第1のPZNPT基板から構成され、第1のPZNPT基板が導電性物質5を介して第2のPZNPT基板4に接合するように構成し、第1のPZNPT基板の厚さが、 $0.5 \sim 100 \mu m$ になるように研磨等で薄層化することが望ましく、それによって、
40 更なる低電圧駆動化が可能になる。

【0015】この様な電気光学効果素子の主表面に入射面に対して出射面が傾斜している三角形形状の電極6、典型的にはプリズム状電極を設けることによって、入射された光が電気光学プリズム効果によって偏向する光偏向素子を構成することができる。

【0016】なお、この場合、高いポッケルス係数を有する $Pb\{(Mg_{1-x}Nb_x)_{1-y}Ti_y\}_zO_3$ をコ
50

ア層2とする光導波路が、電界の印加により高い電気光学効果を示すことにより光導波路を通過する光の波長 λ_n ($=\lambda/n$; 但し、 n は屈折率)は屈折率 n の変化とともに大きく変化することになる。

【0017】上述のような光偏向素子をコリメート系、共通導波路等を組み合わせることによって、低電圧駆動が可能な光スイッチを構成することが可能になる。

【0018】上述のような電極間隔の狭い電気光学効果素子を形成するためには、PZNPT基板を例えば、 $150 \mu m$ 程度まで研磨した後、Au等の導電性物質5を用いて支持基板となる第2のPZNPT基板に接合後、さらに、例えば、 $20 \mu m$ まで機械的あるいは化学的に研磨した後、コア層2となるPMNPT層をエピタキシャル成長させれば良い。

【0019】或いは、第1のPZNPT基板上にPMNPTからなるコア層2、及び、クラッド層3を順次エピタキシャル成長させた後、支持基板となる第2のPZNPT基板を導電性物質5によって接合し、次いで、第1のPZNPT基板の裏面を研磨して、例えば、 $20 \mu m$ まで薄くしても良い。

【0020】

【発明の実施の形態】ここで、図2乃至図5を参照して、本発明の第1の実施の形態を光偏向素子を説明するが、まず、図2及び図3を参照して本発明の第1の実施の形態の製造工程を説明する。

図2(a)参照

まず、市販の $Pb\{(Zn_{0.33}Nb_{0.67})_{0.91}Ti_{0.09}\}O_3$ 組成で厚さが $0.3 mm$ の2枚のPZNPT基板の両面を鏡面研磨し、一枚は導波路作製の第1PZNPT基板11とし、もう一方を支持基板となる第2PZNPT基板13とする。

【0021】次いで、第1PZNPT基板11の厚さが、例えば、 $150 \mu m$ になるように機械的、化学的に研磨した後、片面全面にDCスパッタ法により厚さが、例えば、 $100 nm$ のTi層、厚さが、例えば、 $500 nm$ のPt層、及び、厚さが、例えば、 $300 nm$ のAu層を順次成膜して導電性接着層12とする。また、第2PZNPT基板13についても同様にして、最表面側からAu/Pt/Ti構造の導電性接着層14を形成する。

【0022】図2(b)参照

次いで、導電性接着層12、14同士を対向させて接触させたのち、真空チャンバー内において表面活性接合法を用いて第1PZNPT基板11及び第2PZNPT基板13を接合する。

【0023】即ち、表面活性接合法においては、第1PZNPT基板11及び第2PZNPT基板13を、例えば、 $1 \times 10^{-6} Torr$ の真空チャンバー内に収容したのち、表面の導電性接着層12、14にArビームを照射して導電性接着層12、14の表面の酸化物等の除去

して活性化し、活性化した表面を有する導電性接着層12、14同士を接触させて500~900℃の基板温度で加熱することによって接合する。この場合、導電性接着層12、14は一体になって基板側電極15となる。

【0024】次いで、第2PZNPT基板13の接合面と反対側の面を機械的に厚さが、例えば、30μmまで研磨したのち、ICP（誘導結合型プラズマ）エッチング装置を用いて、さらに、厚さが、例えば、20μmになるまで研磨してPZNPTクラッド層16とする。

【0025】図3(d)参照

次いで、RFマグネトロンスパッタ法を用いて、研磨したPZNPTクラッド層16の表面に厚さが、例えば、2.4μmのPMNPTコア層17、及び、厚さが、例えば、1.0μmのPLZTクラッド層18を順次エピタキシャル成長させる。なお、成膜に際しては、基板側電極15の露出表面上に堆積が生じないようにマスクを用いて成膜を行う。

【0026】この場合の成膜条件は、PMNPTコア層17の場合には、 $\{Pb_{1.2}(Mg_{0.33}Nb_{0.67})O_3\}_{0.65}(Pb_{1.2}TiO_3)_{0.35}$ 組成の8インチのセラミック焼結体をターゲットとして用い、基板加熱温度を400~900℃、例えば、650℃、Ar90%+O₂10%からなる雰囲気の高圧を20mTorrとし、4時間の成膜時間で上述の2.4μmの膜厚のPMNPTコア層17を得た。

【0027】また、PLZTクラッド層18の場合には、 $(Pb_{0.91}La_{0.09})_{1.1}(Zr_{0.65}Ti_{0.35})O_3$ 組成の8インチのセラミック焼結体をターゲットとして用い、基板加熱温度を400~900℃、例えば、650℃、Ar90%+O₂10%からなる雰囲気の高圧を20mTorrとし、1.5時間の成膜時間で上述の1.0μmの膜厚のPZNPTクラッド層18を得た。

【0028】図3(e)参照

次いで、例えば、底辺が1mmで高さが5mmのプリズム状の開口部を有するマスクを用いたRFマグネトロンスパッタ法を用いてPLZTクラッド層18の表面に、厚さが、例えば、0.2μmのITOからなるプリズム状素子電極19を形成する。

【0029】なお、この場合の成膜条件としては、 $(In_{0.95}Sn_{0.05})O_3$ 組成の8インチのセラミック焼結体をターゲットとして用い、例えば、基板加熱温度を室温とし、Ar90%+O₂10%からなる雰囲気の高圧を20mTorrとし、1時間の成膜時間で上述の0.2μmの膜厚のプリズム状素子電極19を得た。

【0030】最後に、基板側電極15及び各プリズム状素子電極19に半田からなるパッド20、21をそれぞれ形成することによって、光偏向素子の基本構成が完成する。

【0031】この場合、PZNPTクラッド層16の屈

折率 n_1 、比誘電率 ϵ_{r1} 、PMNPTコア層17の屈折率 n_2 、比誘電率 ϵ_{r2} 、及び、PLZTクラッド層18の屈折率 n_3 、比誘電率 ϵ_{r3} は、 $n_1=2.561$ 、 $\epsilon_{r1}=3000$ 、 $n_2=2.612$ 、 $\epsilon_{r2}=1500$ 、 $n_3=2.430$ 、 $\epsilon_{r3}=1000$ である。

【0032】図4参照

図4は、本発明の第1の実施の形態の光偏向素子の偏向特性の説明図であり、パッド20とパッド21の間に電源22により100Vの電圧を印加した場合、PZNPTクラッド層16、PMNPTコア層17、及び、PLZTクラッド層18には、各層には厚さ及び比誘電率 ϵ_r の値に応じてそれぞれ72V、17.2V、10.8V印加されることになる。

【0033】この様に、PMNPTコア層17に17.2Vの電圧が印加されることによって、He-Neレーザからの波長が0.633nmの入射光23はプリズム状素子電極19の下の方導波路を通過する際に1.83°(=θ)偏向されて出力光24となる。

【0034】図5参照

図5は、本発明の第1の実施の形態の光偏向素子の光導波路の分散曲線であり、各次モードの規格化伝播定数 b のコア厚み依存性を示したものであり、コア層の厚さを本発明の様に2.4μmとすることによって、0次モードのみを伝播することが可能になる。

【0035】因に、コア層の厚さを5μmにした場合、0次モード、1次モード、及び、2次モードの3つのモードからなるマルチモードとなり、信号光波形が鈍るので高周波光通信が困難になる。なお、各次モードにおいては、TEモードもTMモードもほぼ同じ特性となり重なるので、図においてはその違いを無視して図示している。

【0036】また、コア層を構成するPMNPTは、菱面体晶の $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ 〔PMN〕と正方晶の $PbTiO_3$ 〔PT〕の混晶系ペロブスカイト型酸化物であり、PMN65%-PT35%に菱面体晶と正方晶の相境界が存在し、この相境界において比誘電率が最大値を取り、室温における電気機械結合係数及び圧電定数が最大になる。

【0037】また、結晶の屈折率は結晶中の電子密度の変化であり、圧電定数の最も大きくなる組成において屈折率変化の印加電圧依存性を表すポッケルス効果も最大となるために、光導波路を伝播する光の波長 λ_2 (= λ/n_2)が伝播中に大きく変化することになる。

【0038】この様に、本発明の第1の実施の形態においてはPZNPT基板に基板側電極となる導電性物質を設けたのち支持基板に接合し、その状態でPZNPT基板を薄層化して一方のクラッド層としているので、コア層に電圧を印加するための電極間の距離を十分に薄くすることができ、それによって、低電圧駆動が可能になる。なお、薄層化に際しては、支持基板に接合したのち

7
研磨を行っているので、光導波路構造を構成する P Z N P T 基板のハンドリングに問題は生じない。

【0039】次に、図6及び図7を参照して、本発明の第2の実施の形態の製造工程を説明する。

図6(a)参照

まず、市販の P b { (Z n_{0.33}Nb_{0.67})_{0.91}Ti_{0.09} } O₃ 組成で厚さが 0.3mm の 2 枚の P Z N P T 基板の両面を鏡面研磨し、一枚は導波路作製用の第1 P Z N P T 基板 31 とし、もう一方を支持基板となる第2 P Z N P T 基板 35 (図示は、図6(b)以降)とする。

【0040】次いで、第1 P Z N P T 基板 31 の厚さが、例えば、220 μm になるように機械的、化学的に研磨した後、上記の第1の実施の形態における P M N P T コア層及び P L Z T クラッド層の成膜条件と全く同じ条件で、厚さが、例えば、2.4 μm の P M N P T コア層 32、及び、厚さが、例えば、1.0 μm の P L Z T クラッド層 33 を順次エピタキシャル成長させる。

【0041】図6(b)参照

次いで、DCスパッタ法により P L Z T クラッド層 33 の表面に、厚さが、例えば、100 nm の T i 層、厚さが、例えば、500 nm の P t 層、及び、厚さが、例えば、300 nm の A u 層を順次成膜して導電性接着層 34 とする。一方、第2 P Z N P T 基板 35 についても同様に、最表面側から A u / P t / T i 構造の導電性接着層 36 を形成する。

【0042】図6(c)参照

次いで、導電性接着層 34、36 同士を対向させて接触させたのち、真空チャンバー内において、上記の第1の実施の形態と全く同様に、表面活性接合法を用いて第1 P Z N P T 基板 31 及び第2 P Z N P T 基板 35 を接合する。この際、導電性接着層 34 と導電性接着層 36 は一体になって基板側電極 37 となる。

【0043】図7(d)参照

次いで、第1 P Z N P T 基板 31 の裏面を機械的に厚さが、例えば、30 μm まで研磨したのち、I C P (誘導結合型プラズマ) エッチング装置を用いて、さらに、厚さが、例えば、20 μm になるまで研磨して P Z N P T クラッド層 38 とする。

【0044】図7(e)参照

次いで、例えば、底辺が 1mm で高さが 5mm のプリズム状の開口部を有するマスクを用いた R F マグネトロンスパッタ法を用いて、上記の第1の実施の形態と全く同様の成膜条件で P L Z T クラッド層 38 の表面に、厚さが、例えば、0.2 μm の I T O からなるプリズム状素子電極 39 を形成する。

【0045】最後に、基板側電極 37 及び各プリズム状素子電極 39 に半田からなるパッド 40 (プリズム状素子電極 39 側のパンプは図示を省略) それぞれ形成することによって、光偏向素子の基本構成が完成する。

【0046】この第2の実施の形態の光偏向素子においても、100V の電圧印加において、1.83° の光偏向が得られる。

【0047】この様に、本発明の第2の実施の形態においては、エピタキシャル成長後に研磨を行ってクラッド層となる第1 P Z N P T 基板を薄層化しているため、低電圧駆動が可能になる。

【0048】次に、図8を参照して、上述の光偏向素子を組み込んで構成した本発明の第3の実施の形態の光スイッチを説明する。

図8参照

図8は、本発明の第3の実施の形態の光スイッチの概略的平面図であり、光入力側と光出力側とは対称的に構成されている。

【0049】まず、光偏向素子 51、55 としては、上記の第1の実施の形態或いは第2の実施の形態の光偏向素子を多段に構成したものであり、図においては 2 段構成としており、夫々のプリズム状電極 52、53、56、57 を点対称に組み合わせることによって偏向角の偏向方向を任意にしている。

【0050】この光入力側の光偏向素子 51 と光出力側の光偏向素子 55 とをスラブ導波路構造の共通導波路 54 を介して対向させるとともに、光入力側の光偏向素子 51 の入力側には入力側光ファイバ 60、個別導波路 59、及び、二次元レンズ 58 が設けられ、一方、光出力側の光偏向素子 55 の出力側には出力側光ファイバ 63、個別導波路 62、及び、二次元レンズ 61 が配置された構成となる。

【0051】この第3の実施の形態においても、光偏向素子として上記の第1の実施の形態或いは第2の実施の形態の構成の光偏向素子を用いているため低電圧駆動が可能になる。

【0052】以上、本発明の各実施の形態を説明してきたが、本発明は各実施の形態に記載した構成に限られるものではなく、各種の変更が可能である。例えば、上記の各実施の形態において偏向素子電極の形状を直角三角形形状のプリズム状電極としているが、この様な形状に限られるものではなく、光入射面に対して光出射面が傾斜した斜辺を有する形状の素子電極であれば良く、例えば、台形的な截頭三角形形状でも良い。

【0053】また、上記の各実施の形態においては、コア層及びクラッド層を成長させる際に R F マグネトロンスパッタ法を用いているが、R F マグネトロンスパッタ法に限られるものではなく、有機金属気相成長法 (M O C V D 法) 或いはレーザアブレーション法を用いても良いものである。

【0054】また、上記の第1及び第2の実施の形態においては、プリズム状素子電極を I T O からなる透明電極によって形成しており、電極界面での光の散乱を低減しているが、第2の実施の形態のように、プリズム状素

子電極を設けるクラッド層が厚い場合には、ITO等の透明電極を用いる必要はない。

【0055】また、上記の第1の実施の形態においても、PLZTクラッド層を厚く成膜した場合には、プリズム状素子電極を透明電極によって構成する必要はない。

【0056】また、上記の各実施の形態においては、光導波路構造をコア層の両側をクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造的に構成しているが、必ずしもダブルヘテロ構造である必要はなく、特に、プリズム状素子電極を透明電極で形成した場合には、この透明なプリズム状素子電極がクラッド層の機能を兼ねるので、上部クラッド層が必ずしも必要ではなくなる。

【0057】また、上記の各実施の形態においては、光偏向素子として説明しているが、光偏向素子に限られるものではなく、光変調素子等の他の電気光学効果素子にも適用されるものである。

【0058】例えば、コア層或いは一方のクラッド層に回折格子構造を形成することによって分布ブラッグ反射器(DBR)を構成することができるが、このDBRに電圧を印加することによって実効波長 λ_n ($=\lambda/n$)が大きく変化するので、回折条件を満たさなくなり、それによって光変調機能を持たせることができる。

【0059】ここで、再び、図1を参照して、改めて本発明の詳細な特徴を説明する。

図1参照

(付記1) 少なくとも一方のクラッド層1が $Pb\{(Zn_{1-u}Nb_u)_{1-v}Ti_v\}_wO_3$ からなり、且つ、コア層2が $Pb\{(Mg_{1-x}Nb_x)_{1-y}Ti_y\}_zO_3$ からなる光導波路構造を備えたことを特徴とする亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子。

(付記2) 上記 $Pb\{(Zn_{1-u}Nb_u)_{1-v}Ti_v\}_wO_3$ における u, v, w が、それぞれ、 $0.5 < u < 1, 0 \leq v < 0.5, 0.8 < v < 1.2$ であることを特徴とする付記1記載の亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子。

(付記3) 上記 $Pb\{(Zn_{1-u}Nb_u)_{1-v}Ti_v\}_wO_3$ の主表面が、ペロブスカイト構造の(100)面、(001)面、(101)面、及び、(111)面のいずれかであることを特徴とする付記1または2に記載の亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子。

(付記4) 上記一方のクラッド層1が $Pb\{(Zn_{1-u}Nb_u)_{1-v}Ti_v\}_wO_3$ からなる第1のPZNPT基板から構成され、前記第1のPZNPT基板が導電性物質5を介して第2のPZNPT基板4に接合されていることを特徴とする付記1乃至3のいずれか1に記載の亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子。

(付記5) 上記第1のPZNPT基板の厚さが、 $0.5 \sim 100 \mu m$ であることを特徴とする付記4記載の亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子。

(付記6) 上記電気光学効果素子の少なくとも一方の主面に入射面に対して出射面が傾斜した斜面を有する形状の電極6が形成され、光導波路に入射された光が電気光学プリズム効果によって偏向することを特徴とする付記1乃至5のいずれか1に記載の亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子。

(付記7) 上記 $Pb\{(Mg_{1-x}Nb_x)_{1-y}Ti_y\}_zO_3$ をコア層2とする光導波路が、電界の印加により電気光学効果を示すことにより光導波路を通過する光の波長が変わることを特徴とする付記1乃至5のいずれか1に記載の亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子。

(付記8) 複数の光導波路と、前記各導波路の光信号を個別にコリメートするコリメート部と、前記コリメート部を通過した各光信号の伝搬方向をそれぞれ切り替える付記6記載の亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子からなる複数の第1の光偏向素子と、前記複数の第1の光偏向素子をそれぞれ通過した各光信号が伝搬する共通導波路と、前記共通導波路を通過した各信号の伝搬方向をそれぞれ個別に切り替える付記6記載の亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子からなる複数の第2の光偏向素子と、前記第2の光偏向素子を通過した各信号をそれぞれ個別に集光する集光部を少なくとも有し、前記第1の光偏向素子および第2の光偏向素子はいずれも1つまたは複数のプリズム群ペアによって構成されることを特徴とする光スイッチ。

(付記9) $Pb\{(Zn_{1-u}Nb_u)_{1-v}Ti_v\}_wO_3$ からなる第1のPZNPT基板を導電性物質5を用いて $Pb\{(Zn_{1-u}Nb_u)_{1-v}Ti_v\}_wO_3$ からなる第2のPZNPT基板4に接合したのち、前記第1のPZNPT基板を薄層化してクラッド層1とし、次いで、前記クラッド層1上に少なくとも $Pb\{(Mg_{1-x}Nb_x)_{1-y}Ti_y\}_zO_3$ からなるコア層2をエピタキシャル成長させる工程を有することを特徴とする亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子の製造方法。

(付記10) $Pb\{(Zn_{1-u}Nb_u)_{1-v}Ti_v\}_wO_3$ からなる第1のPZNPT基板上に少なくとも $Pb\{(Mg_{1-x}Nb_x)_{1-y}Ti_y\}_zO_3$ からなるコア層2、及び、クラッド層3を順次エピタキシャル成長させたのち、前記第1のPZNPT基板と $Pb\{(Zn_{1-u}Nb_u)_{1-v}Ti_v\}_wO_3$ からなる第2のPZNPT基板を導電性物質5によって接合し、次いで、第1のPZNPT基板の裏面を薄層化してクラッド層1とす

る工程を有することを特徴とする亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛混晶系強誘電体単結晶を用いた電気光学効果素子の製造方法。

【0060】

【発明の効果】以上説明したように、PZNP T基板兼クラッド層及びPMNP Tコア層を有する光導波路を作製することにより、従来のLiNbO₃を用いた光変調素子、光偏向素子に比べて駆動電圧を大きく低減でき、特に、PZNP T基板兼クラッド層を薄層化することによって低電圧駆動が実現でき、ひいては、波長多重光通信システムの普及・発展に寄与するところが多い。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理的構成の説明図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態の途中までの製造工程の説明図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態の図2以降の製造工程の説明図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態の光偏向素子の偏向特性の説明図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態の光偏向素子の光導波路の分散曲線である。

【図6】本発明の第2の実施の形態の途中までの製造工程の説明図である。

【図7】本発明の第2の実施の形態の図6以降の製造工程の説明図である。

【図8】本発明の第3の実施の形態の光スイッチの概略的平面図である。

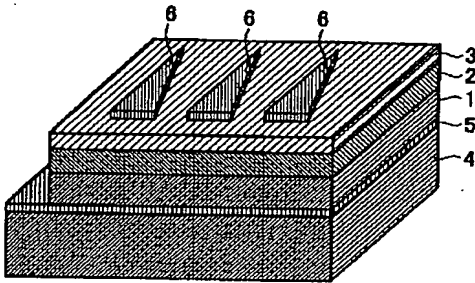
【符号の説明】

- 1 クラッド層
- 2 コア層
- 3 クラッド層
- 4 第2のPZNP T基板
- 5 導電性物質
- 6 斜面を有する形状の電極
- 11 第1PZNP T基板
- 12 導電性接着層

- 13 第2PZNP T基板
- 14 導電性接着層
- 15 基板側電極
- 16 PZNP Tクラッド層
- 17 PMNP Tコア層
- 18 PLZTクラッド層
- 19 プリズム状素子電極
- 20 パッド
- 21 パッド
- 22 電源
- 23 入力光
- 24 出力光
- 31 第1PZNP T基板
- 32 PMNP Tコア層
- 33 PLZTクラッド層
- 34 導電性接着層
- 35 第2PZNP T基板
- 36 導電性接着層
- 37 基板側電極
- 38 PZNP Tクラッド層
- 39 プリズム状素子電極
- 40 パッド
- 51 光偏向素子
- 52 プリズム状電極
- 53 プリズム状電極
- 54 共通導波路
- 55 光偏向素子
- 56 プリズム状電極
- 57 プリズム状電極
- 58 二次元レンズ
- 59 個別導波路
- 60 入力側光ファイバ
- 61 二次元レンズ
- 62 個別導波路
- 63 出力側光ファイバ

【図1】

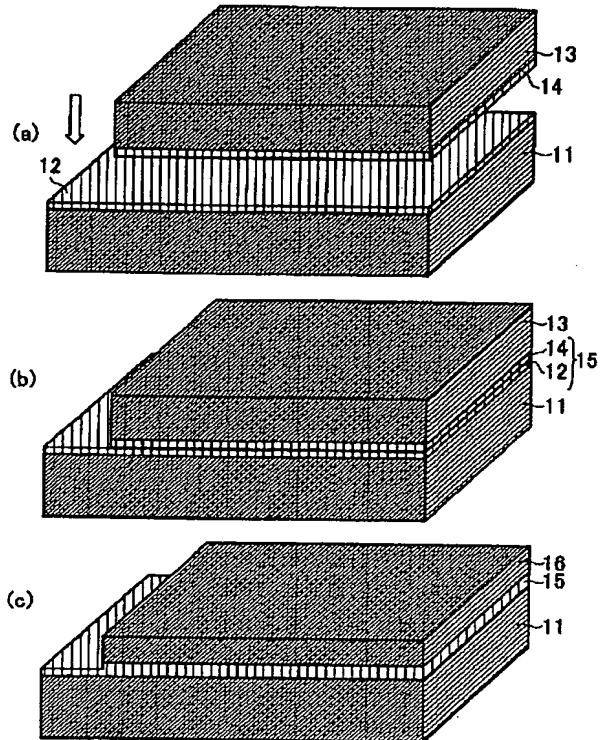
本発明の原理的構成の説明図



- 1:クラッド層
2:コア層
3:クラッド層
4:第2のPZNP基板
5:導電性物質
6:斜面を有する形状の電極

【図2】

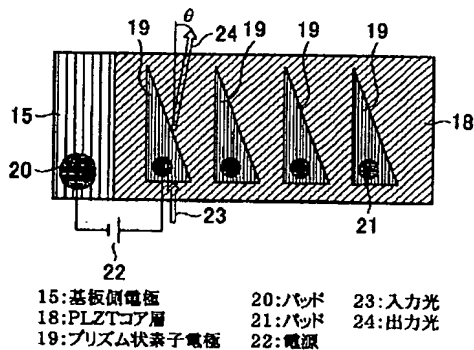
本発明の第1の実施の形態の途中までの製造工程の説明図



- 11:第1PZNP基板
12:導電性接着層
13:第2PZNP基板
14:導電性接着層
15:基板側電極
16:PZNPクラッド層

【図4】

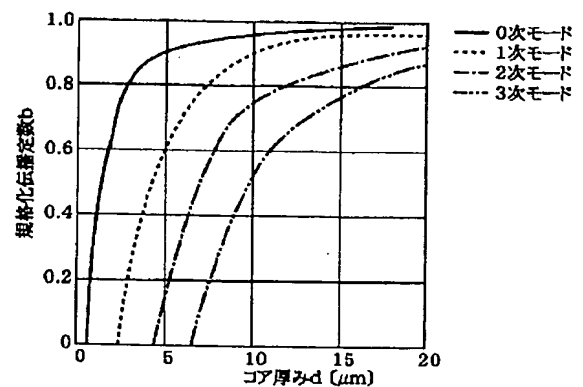
本発明の第1の実施の形態の光偏向素子の偏向特性の説明図



- 15:基板側電極
18:PLZTコア層
19:プリズム状素子電極
20:パッド
21:パッド
22:電源
23:入力光
24:出力光

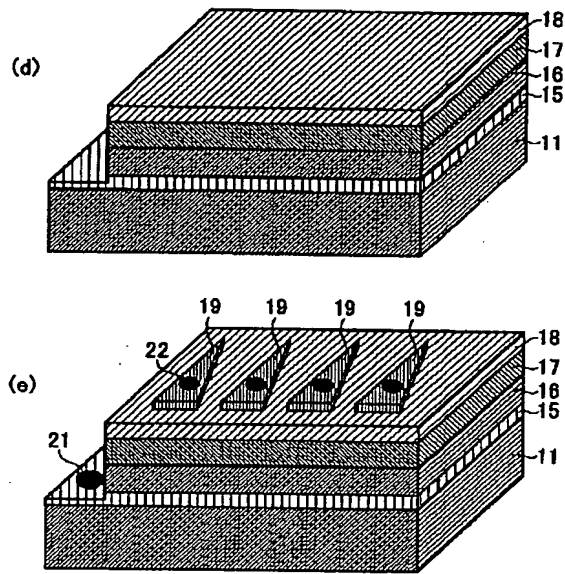
【図5】

本発明の第1の実施の形態の光偏向素子の光導波路の分散曲線



【図3】

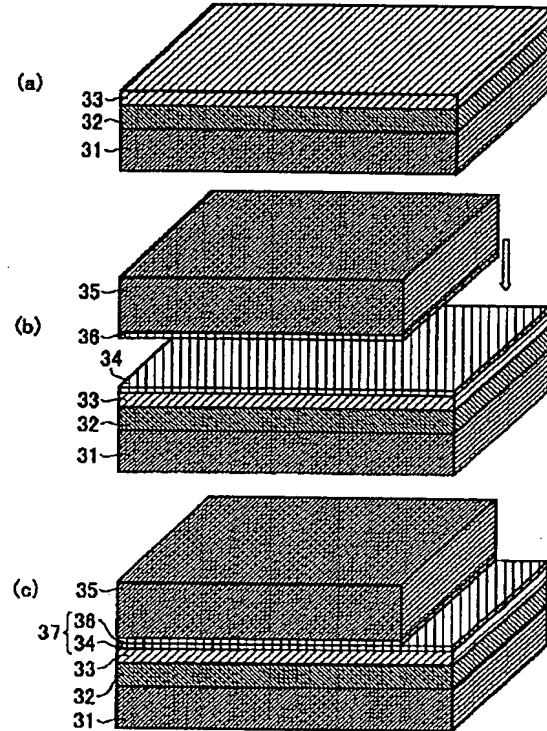
本発明の第1の実施の形態の図2以降の製造工程の説明図



- | | |
|----------------|---------------|
| 11: 第1PZNPT基板 | 18: PLZTコア層 |
| 15: 基板側電極 | 19: プリズム状素子電極 |
| 16: PZNPTクラッド層 | 20: パッド |
| 17: PMNPTコア層 | 21: パッド |

【図6】

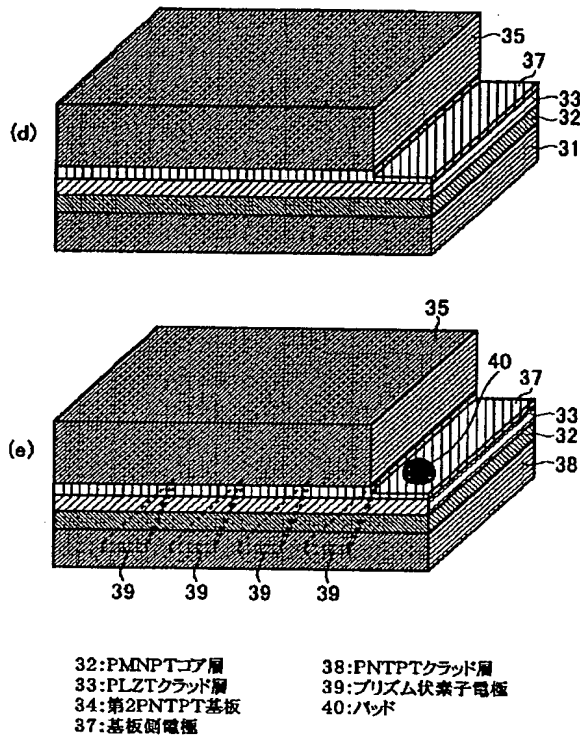
本発明の第2の実施の形態の途中までの製造工程の説明図



- | | | |
|---------------|---------------|------------|
| 31: 第1PZNPT基板 | 34: 導電性接着層 | 36: 導電性接着層 |
| 32: PMNPTコア層 | 35: 第2PNTPT基板 | 37: 基板側電極 |
| 33: PLZTクラッド層 | | |

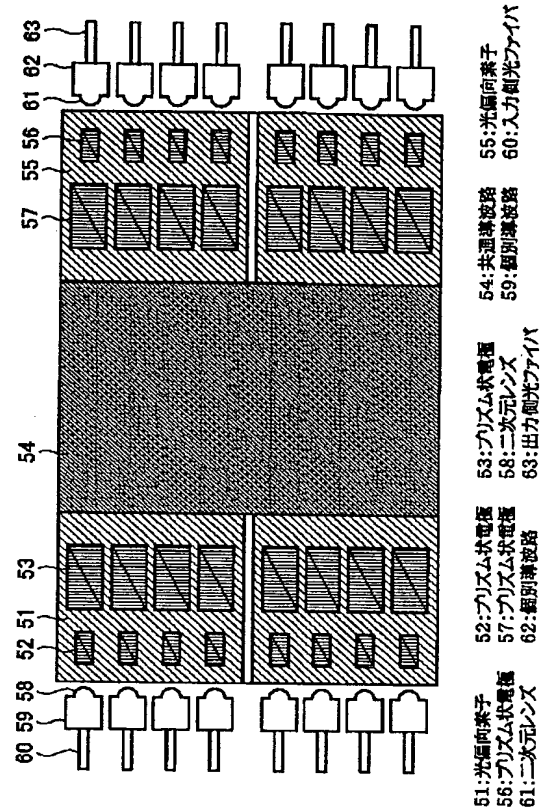
【図7】

本発明の第2の実施の形態の図6以降の製造工程の説明図



【図8】

本発明の第3の実施の形態の光スイッチの概略的平面図



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H079 AA02 AA12 BA02 DA04 DA23
DA25 JA06 JA07
2K002 AA02 AB04 AB06 BA06 CA02
CA23 CA25 DA05 EA10 EA16
EA30 EB05 EB09 HA02